

고주파 전기 저항 용접법의 용접 변수가 용접 강관의 용접 품질에 미치는 영향  
 The effects of Welding Variables on the Quality of Weldments Produced by High Frequency  
 Electric Resistance Welding

강덕일, 장영섭, 김용석 : 홍익대학교 금속 재료 공학과  
 오주섭, 양경모, 공원일 : 세아제강부설 기술 연구소

1. 서론

국내 강관제조방법의 약 70%를 차지하고 있는 고주파 전기 저항 용접법은 용접 속도가 빠르고 용접 결함의 발생률이 적은 장점이 있다. 이에 따라서 기존의 무게목 강관을 대체하여 고주파 전기 저항 용접법으로 제조된 용접강관의 사용이 점차 확대되어가고 있다. 이러한 용접 강관의 용접 품질에 영향을 미치는 요인으로서의 제질, 용접 입열 및 성형 조건등이 있는데, 용접 품질을 향상시키기 위해서는 이들 제조변수를 적절하게 조절하는 것이 필수적이라 하겠다. 따라서 본 연구에서는 고주파 전기 저항 용접시 용접 변수의 변화 특히 용접 입열속도의 변화가 용접 결함의 발생 빈도에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 특히 용접 입열의 변화에 따라서 발생하는 용접 현상을 고속도 카메라로 관찰하여, 용접 결함의 발생 원인을 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 생산에 실제 사용되는 조관기를 이용하여 실험을 실시하였다. 고주파 전기 저항 용접기는 발전 주파수가 450KHz이고, 최대 450KW 용량을 가진 용접기이다. 본 조관기는 외경이 4"12 inch까지, 두께는 4"11mm범위까지 가능하다. 이 조관기를 이용하여 적정 입열 조건을 설정한 후, 이 입열보다 +/- 5%의 입열 범위까지 변화시켜 용접 결함의 발생 빈도를 측정하였다. 용접 결함의 발생빈도는 용접 단면 또는 용접선에 평행한 단면을 광학 현미경을 이용하여 image analyzer를 이용하여 측정하였다. 또한 고주파 전기 저항 용접 현상을 고속 카메라를 이용하여 관찰하였다. 촬영 speed는 1,000~10,000 pictures per second의 속도로 촬영하였다.

3. 실험 결과

1) 용접 속도 및 두께가 적정 입열량에 미치는 영향

아래의 그림 1)은 용접 속도의 변화에 따른 용접 입열량의 변화를 실험적으로 측정된 결과이다. 그림에서 보면 용접 속도가 증가함에 따라서 적정 입열량은 용접 속도에 지수함수적으로 증가 하는 것을 볼 수 있다. 이와같은 적정 입열량을 중심으로하여 용접 입열을 변화시켜 적정 입열범위를 확인하고자 하였다. 먼저 용접 입열량을 감소시킴에 따라서 용접 비드의 생성량이 줄어들기 시작하여, 용접입열량이 적정 용접 조건대비 -5%정도에 이르게되면 용접본드가 형성되지 않았다. 이에 비하여 용접 입열량을 증가시킴에 따라서 스페터의 발생량이 증가하기 시작하여, 용접 입열이 +5%정도에 이르면 과도한 비드가 형성되고, 이보다 더 증가되면 국부적으로 미용접된 부분이 발생하였다. 이와같이 미용접된 부분이 발생하는 것은 대강의 단면이 과도하게 용융되어, 밖으로 배출되기 때문이다.

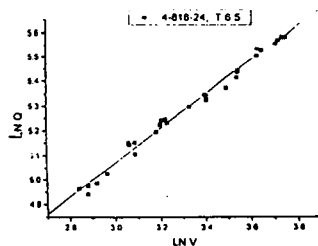


그림 1

2) 용접 입열량의 변화에 따른 용접 결함의 발생 빈도

용접 입열량의 변화에 따른 용접 결함의 발생 정도를 확인하기 위하여 용접부의 단면을 절단하여 광학 현미경으로 관찰하였다. 그림 2)은 대표적인 용접부의 결함의 발생 빈도를 나타낸다. 그림에서 보면 용접 결함이 주로 강관의 표면에 많이 집중되어 있는 것을 볼 수 있다. 이와같은 용접 결함의 개수를 image analyzer로 측정하여 그림 3)에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 용접 결함의 발생 빈도와 용접 입열사이에는 상관관계가 그리 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 이러한 현상은 시험 방법의 통계적인 문제점 때문에 발생할 수 있다. 즉 용접부의 단면을 관찰하여 용접 결함의 발생빈도를 측정하기 때문에, 이 실험 결과가 의미가 있기 위해서는 많은 시료를 시험하여야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 용접 결함 빈도를 측정하는 방법을 개선하여, 그림 4)와같이 용접선에 평행한 방향으로 단면을 절단하여 용접선의 결함 발생빈도를 측정하였다. 그림 5)와 6)은 이와같은 방법으로 측정한 결과로서 용접 표면과 0.5mm아래 부분의 용접 결함의 발생빈도를 용접 입열속도의 변화에따라서 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 용접부의 표면부분에서는 용접 결함의 발생이 용접 입열이 증가함에따라서 약간 감소하다가 다시 급격하게 증가하는 것으로 관찰되었다. 이에 비하여 재료의 표면에서 깊은 부분의 용접 결함의 발생빈도는 용접 입열이 증가함에 따라서 급격히 감소한 후 용접 입열이 증가하여도 그리 증가하는 것이 관찰되지 않는다. 이러한 결과에서보면 용접 결함의 발생 빈도는 위치에 따라서 매우 민감하게 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 각부분에서의 용접 결함의 발생 기구가 각각 다르다는 것을 의미한다.

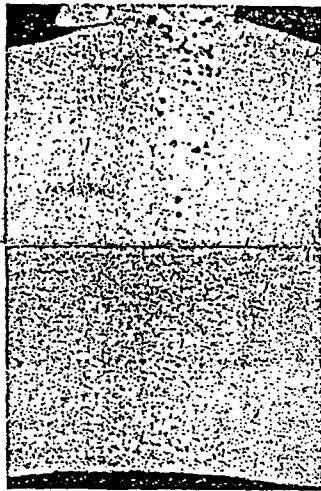


그림 2

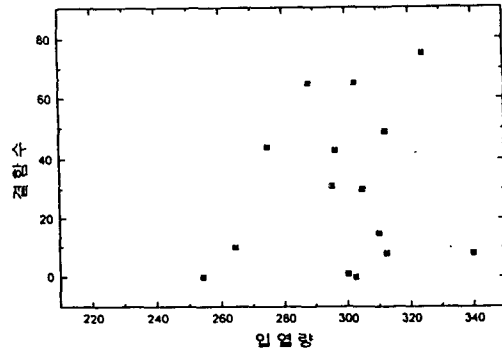


그림 3

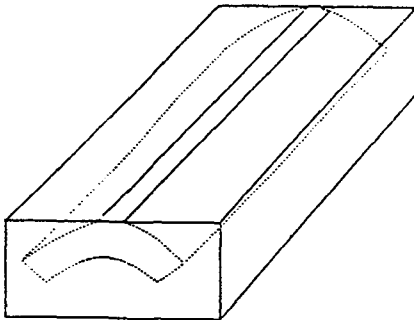


그림 4

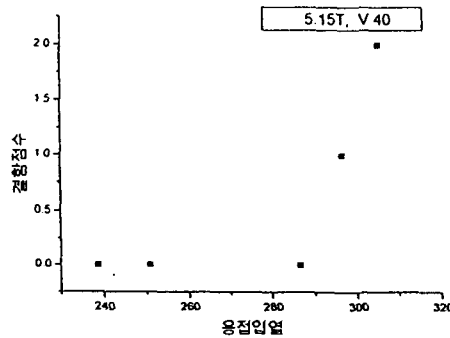


그림 5

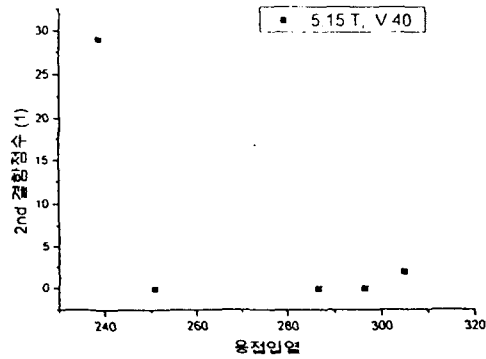


그림 6

### 3) 고속 카메라에 의한 고주파 전기 저항 용접 현상

그림 7)은 고주파 전기 저항 용접법에 의하여 용접되는 용접 현상을 고속도 카메라를 이용하여 5000pps의 속도로 촬영한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 대강에지가 가열됨에 따라서, 용융되어 액적이 형성되는 것을 볼 수 있다. 또한 대강에지가 만나는 접촉점에서는 스파크가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이 접촉점의 위치는 용접점의 위치와 항상 일치하지는 않는 것을 볼 수 있다. 즉 접촉점과 용접점사이에는 약간의 간격이 존재하는 것을 볼 수 있는데, 이것의 간격 거리를 나타내면 그림 8)과 같다. 즉 간격이 입열량이 증가함에 따라서 증가하다가 다시 감소하는 것을 볼 수 있다.



그림 7

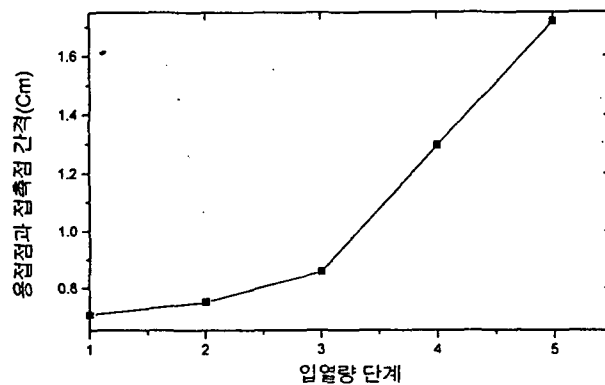


그림 8

#### 4. 결론

1) 고주파 전기 저항 용접법으로 용접 강관을 제조시, 적정입열은 용접 속도의 로그 함수와 거의 직선적인 관계를 만족하며, 용접이 이루어지는 범위는 대략 +/-5%정도이다.

2) 고주파 전기저항 용접부의 용접 특성을 파악하기 위해서는 단면의 미세조직보다 용접선과 수직-평행한 면의 미세조직을 관찰하는 것이 통계적으로 의미가 있는 데이터가 얻어졌다. 용접 결함의 발생빈도는 강관 표면으로부터 거리에 따라 민감하게 변화하는 것으로 나타났다.

3) 고주파 전기저항 용접시의 용융 금속이 대강에지면들로부터 배출되는 것이 확인되었으며, 에지간의 접촉점과 용접점이 상호 일치하지 않는 것이 관찰되었다. 이와같은 현상이 용접 결함의 발생원인으로 추정된다.